Samstarf Landsvirkjunar og Jarðvísindastofnunar Háskólans um jöklarannsóknir 1978 til 2022: Stiklað á stóru

Finnur Pálsson[1], Helgi Björnsson[1] og Hannes H. Haraldsson[2]

[1]*Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 102 Reykjavík*

[2]*Landsvirkjun, Háaleitisbraut 68, 103 Reykjavík*

https://doi.org/10.33799/jokull2022.72.087o

Inngangur

Samstarf Landsvirkjunar (LV) og jöklahóps Raunvísindastofnunar (RH) og síðar Jarðvísindastofnunar Háskólans (JH), hefur staðið í nærri fjóra áratugi, og á margan hátt lagt grunn að alhliða og sértækri þekkingu á jöklum Íslands, eðli þeirra, stærð og langtíma breytingum. Við upphaf þessa samstarfs um miðjan áttunda áratug 20. aldar var þekking á jöklum landsins mjög takmörkuð. Flatarmál jöklanna var sæmilega þekkt en hæð þeirra og lögun síður og ísþykkt aðeins í stöku punktum frá því jarðsveiflumælingar höfðu verið gerðar um miðja 20. öld. Hæðarlínur á landakortum voru enn þær sömu og dregnar voru á kort Dana og Bandaríkjamanna skömmu fyrir og eftir seinni heimsstyrjöld. Fyrir ofan 1000 m hæð höfðu kortin reyndar aldrei sýnt annað en grófar ágiskanir um hæð og lögun yfirborðs. Jaðrar jöklanna höfðu þó öðru hvoru verið endurskoðaðir þegar kort voru endurprentuð, en þó sjaldan svo að greinilega kæmi fram frá hvaða tíma nýr jaðar væri. Eftir 1970 voru síðan gerð kort af blásporðum nokkurra skriðjökla með nákvæmum landmælingum, ýmist á vegum LV eða Raforkumálastjóra (síðar Orkustofnunar). Meðalþykkt jökuls hafði þá einnig verið metin með þyngdarmælingum á nokkrum sniðum á Vatnajökli.

Umfangsmestu og best túlkuðu afkomumælingarnar um 1970 voru enn þær sem sænsk-íslenski leiðangurinn hafðu safnað á SA-Vatnajökli 1935 til 1937. Ef frá eru taldar ítarlegar mælingar á veðurþáttum og orkubúskap á Bægisárjökli sumurin 1967–8 (sjá greinar Helga Björnssonar í Jökli 1971 og 1972) og skráningu veðurþátta við borstað á Bárðarbungu 1972, höfðu nær engar veðurathuganir þá verið gerðar á jöklum. Stakar afkomumælingar voru þó til á Vatnajökli allt frá sjötta áratugnum, flestar unnar í ferðum Jöklarannsóknafélag Íslands (JÖRFI), einkum í Grímsvötnum, þó nær eingöngu af snjósöfnun að vetri, örfáar af sumarleysingu.

Þannig voru gögn sem nota mætti til að meta stærð vatnasviða og afrennsli frá jöklum til jökulánna afar takmörkuð á sama tíma og aukin þörf var á upplýsingum um afrennsli frá jöklum, samhliða því sem fleiri og stærri virkjanir nýttu jökulvatn til rafmagnsframleiðslu. Úr þessum málum vildu virkjanaaðilar og tengdar stofnanir bæta (Landsvirkjun, RARIK, Skrifstofa Raforkumálastjóra, síðar Orkustofnun).

Í minnisblaði LV 262 1981, mál: 704.16 EBE/JMM, (Elías B. Elíasson og Jóhann Már Maríusson) um vatnarannsóknir segir: *Að undanförnu hefur Landsvirkjun lagt aukna áherzlu á grunnrannsóknir á vatnasvæði sínu. Tilgangurinn er fyrst og fremst sá, að öðlast meiri þekkingu á samhengi þeirra þátta, sem mynda rennsli ánna svo sem úrkomu, jöklabráðnun og grunnvatni, til þess að geta spáð um vatnsrennsli betur en nú er gert. Þetta mun þegar fram í sækir væntanlega bæði bæta reksturinn á vatnsaflstöðvum og auka öryggið í áætlanagerðinni. Helztu nýmæli, sem unnið hefur verið að eru þessi.*

Á síðastliðnu ári var farinn fimm vikna mælingaleiðangur á Tungnaárjökul og botn hans kortlagður. Hugmyndin er að mæla einnig Köldukvíslarjökul og víðar með sama hætti. Í fyrra voru settir upp nokkrir grunnvatnshæðarmælar í borholur og á þessu ári verða boraðar tvær holur austan Þórisvatns og settir mælar í þær. Veðurstofan hefur verið beðin að finna beztu aðferðir við að áætla veðurfar liðins tíma á ómældum svæðum og er fyrsta skýrsla þegar komin.

Sett hefur verið á fót rennslisspárnefnd, sem í eiga sæti fulltrúar frá Landsvirkjun, Orkustofnun og Rafmagnsveitum ríkisins, sem vinnur að uppsetningu og aðlögun erlendra

rennslislíkana fyrir okkar aðstæður. Framangreindar rannsóknir munu bæta forsendur í líkaninu þannig, að segja megi fyrir um áhrif veðurfarsbreytinga, vatnsborðsbreytinga í lónum o.s.frv. mun betur en hingað til.

Í minnisbaðinu er vísað til ísþykktarmælinga á Tungnaárjökli árið 1980. Aðdragandi þeirra var sá að um miðjan áttunda áratuginn hóf Helgi Björnsson jöklafræðingur vinnu við að þróa búnað til þess að mæla ísþykkt þíðjökla. Með fjárhagslegum stuðningi Eggerts V. Briem var Marteinn Sverrisson, nýútskrifaður rafmagnsverkfræðingur, við eðlisfræðistofu Raunvísindastofnunar fenginn til að hanna og smíða mælitækin, en að því komu einnig Jón Sveinsson tæknifræðingur og Ævar Jóhannesson tæknimaður. Marteinn hannaði og smíðaði móttakarann (sjá greinar í afmælisriti Þorbjarnar Sigurgeirssonar, *Í hlutarins eðli* og yfirlitsgrein í *Annals of Glaciology* 2020, https://doi.org/10.1017/aog.2020.10) en Ævar senditækin. Í samstarfi við Vegagerðina hafði frumgerð hennar verið notuð til mælinga á ísþykkt á sporði Fláajökuls 1976, og prófanir gerðar á sniðmælingum Mýrdalsjökli 1977. Íssjáin var tilbúinn til notkunar 1978 og var hún þegar notuð til þess að mæla þykkt íshellunnar á Grímsvötnum, í tengslum við samvinnu RH og Vegagerðar um rannsóknir á Grímsvatnahlaupum, og á Bárðarbungu.

Sögulegt yfirlit

Hér er stiklað á stóru yfir jöklarannsóknir sem starfsmenn Raunvísindastofnunar og síðar Jarðvísindastofnunar hafa unnið, með stuðningi frá Landsvirkjun. Rakin eru verkefni og hvernig tækjabúnaður og aðstaða breyttist til batnaðar með hverju ári svo að afköst jukust stöðugt við mælingar. Fyrstu árin var unnið að öflun gagna um landslag við botn og yfirborð jökla og gerð landakorta, mati á ísforða sem bundinn er í jöklum og afmörkun vatnasviða til einstakra vatnsfalla. Þessi gögn lögðu grunn að gerð líkana um hreyfingu jöklanna. Byrjað var á rannsóknum á vatnasviði Þjórsár, Tungnaár og Köldukvíslar og síðan unnið á norðanverðum Vatnajökli. Síðar hófust mælingar á afkomu og skriðhraða jöklanna. Einnig var hitastig í vetrarsnjólaginu mælt á reglulegu bili í borkjörnum. Þarnæst kom að því að kanna veðurþætti sem ráða sumarleysingu, með því að koma upp sjálfvirkum veðurstöðvum á jöklum og mæla lofthita, raka, geislun, vindhraða og hæðarbreytingar við yfirborð jökulsins. Þannig fengust gögn til líkangerðar um tengsl leysingar og veðurfars á jöklum.

Í nokkrum þessara verkefna var samstarf við erlendar rannsóknastofnanir og háskóla, sem var styrkt af Evrópusambandinu og Norðurlandaráði. Sú fjölþjóðlega samvinna hefur reynst mjög mikilvæg til þess að fá aðgang að fjarkönnunargögnum og nýjungum í mælitækni og gagnaúrvinnslu. Á þann hátt hafa fengist gögn úr gervihnöttum, sem enginn innlendur sjóður hefði ráðið við að kaupa. Með þeim gögnum hefur tekist að skrá á hverju ári breytingar á jökuljöðrum og hæð snælínu auk þess sem unnt hefur verið að skrá hæð og hreyfingar jöklanna.

Íssjármælingar, kortagerð og afmörkun vatnasviða

Árið 1980 var að frumkvæði Jóhanns Más Maríussonar aðstoðarforstjóra Landsvirkjunar samið um að jöklafræðingar við Raunvísindastofnun mældu ísþykkt Tungnaárjökuls, gerðu kort af botni hans og afmörkuðu vatnasvið Tungnaár á jökli. LV lagði til snjóbíla og meiðhýsi. Dagana 11. apríl til 14. maí voru um 550 km löng snið mæld. Lagt var út mælinet á jökulinn þannig að stikum var raðað með hornkíki á beina línu með 200 m millibili (mælt með 200 m löngum spotta). Fleiri mælilínur voru lagðar samsíða með 1 km millibili og loks voru settar línur hornrétt á hinar svo að úr varð rétthyrnt mælinet. Aðeins var unnt að hafa með í leiðangurinn um 200 stikur og því þurfti stöðugt að taka þær upp eftir að mældar höfðu verið um 40 km langar mælilínur og flytja yfir á nýtt mælisvæði. Sæmilegt skyggni þurfti til þess að setja upp mælinetið og einnig til þess að sjá á milli stikanna þegar ekið var með mælitækin. Illviðri gátu því tafið mælingar. Þó var bót í máli að bjart var allan sólarhringinn svo að vinna mátti jafnt að nóttu sem degi. Lega nokkurra hornpunkta í mælinetinu var mæld með gervitunglastaðsetningartæki en slíkar mælingar voru þá nýnæmi (TRANSIT leiðsögukerfi). Hæð yfirborðs var mæld með loftvog sem fylgdi íssjánni um jökulinn en breytingar í loftþyngd meðan á mælingum stóð voru skráðar í fastri bækistöð.

Verkið unnu sjö manns: Helgi Björnsson, Hannes H. Haraldsson, Hörður Hafliðason, Jón Sveinsson, Bryndís Brandsdóttir, Magnús Már Magnússon, og

Ástvaldur Guðmundsson. Í bækistöðinni var meiðhýsið (Moellenhús á skíðum) sem keypt var vegna leiðangursins, en fram til þess höfðu íssjármælingamenn þurft að sofa í tjöldum og oft við illan leik í fárviðrum svo að þeir máttu hafa sig alla við að standa undir tjalddúknum svo að þá fennti ekki í kaf. Þegar óveðri slotaði voru leiðangursmenn ekki til stórræða. Með því að geta beðið af sér illviðri innanhúss héldu þeir nú þreki til langra mælingaferða.

Unnið var úr mælisniðum sumarið 1980 á Merkjafræðistofu HÍ, undir verkstjórn Helga Björnssonar og Sigfúsar Björnssonar, en að því unnu þeir Steinar Jónsson, Gunnar Baldvinsson og Finnur Pálsson, allir nýútskrifaðir rafmagnsverkfræðingar. Helgi vann stafræn kort af botni og yfirborði og mat vatnsmætti við botn með Surf-hugbúnaði við háskólann í Stokkhólmi í Svíþjóð. Með þessum gögnum voru afmörkuð vatnasvið Tungnaár og Sylgju á jökli og reyndust þau verulega frábrugðin því sem ætla mætti af yfirborðskorti jöklanna. Móbergshryggir í stefnu SV-NA undir jöklinum ráða þarna miklu um hvert vatn rennur.

Árið 1981 var unnið að íssjármælingum á Eyjabakkajökli (var reyndar kostað af RARIK). Mælingum var hagað sem fyrr en einnig fékkst reynsla af því að aka nær beinar mælilínur eftir LORAN-C tækjum og skrá legu þeirra á segulbönd. Úrvinnslu mælisniða og kortagerð unnu Finnur Pálsson og Helgi Björnsson, með aðstöðu og búnaði á Merkjafræðistofu Háskólans.

Íssjármælingum á vatnasviði Þjórsár var haldið áfram vorið 1982 á Köldukvíslarjökli. Mælilínur voru lagðar út með hornamælingum eins og áður á Tungnaárjökli en um leið og ekið var eftir þeim með mælitækin var staðsetning með LORAN-C tækjum skráð jafnharðan, ásamt loftþrýstingi til hæðarmælinga, hvorutveggja með Texas Instruments 9900 örtölvukerfi (sá búnaður er nú varðveittur á Jöklasafninu á Höfn í Hornafirði). Staðsetning með LORAN-C tækjunum tókst vel. Endurteknar mælingar á sama stað með LORAN-C sýndu að nákvæmni væri um 20 m. Hins vegar var hliðrun í reiknuðum LORAN-staðsetningum sem gat numið nokkur hundruð metrum og var hún breytileg frá einum stað til annars. Þetta fráviki þurfti að finna í nokkrum punktum á mælisvæðinu svo að unnt væri að leiðrétta skráðar staðsetningar. Tækin reikna með því að langbylgjumerkin (frá Gufuskálum á Snæfellsnesi, Jan Mayen og Færeyjum) ferðist á mótum lofts og sjávar en vegna þess að bylgjan fylgir yfirborði seinkar merkinu í fjalllendi. Bylgja frá sendistöð á Snæfellsnesi hefur farið langa leið yfir Langjökul og Hofsjökul.

Á Köldukvíslarjökli liðu þrjár vikur án þess að hægt væri að hefja mælingar. Norðan stórviðri var með miklum kulda, skafrenningi og ofankomu. Ekki væsti þó um mælingamenn í Moellenhúsinu og nýju léttbyggðu meiðhýsi af sænskri gerð (það hús lánaði Landsvirkjun til Raunvísindastofnunar þegar íssjármælingar voru gerðar á Mýrdalsjökli vorið 1991). En óveðrið reyndi þó á og fljótt urðu menn hundleiðir á bridge-spilamennsku, og svo fór að þeir voru hættir að láta vita af sér í byggð um Gufunes-radíó, orðnir nær úrkula vonar um að þeim tækist að vinna það verk sem þeir höfðu tekið að sér. Svo fór að auglýst var eftir þeim í útvarpi við dagskrárlok, nokkuð höstuglega að þeim fannst, og þá létu þeir fljótt vita af sér og urðu því fegnir að vera beðnir um að klára verkið hvað sem það kostaði. Þegar veðri slotaði loks, bárust nýjar matarbirgðir og á næstu þremur vikum tókst að ljúka við fyrirhugað verk. Úrvinnslu mælisniða og kortagerð önnuðust Finnur Pálsson, Símon Ólafsson, Trausti Traustason og Helgi Björnsson, með aðstöðu og búnaði á Merkjafræðistofu Háskólans.

Árið 1983 var Hofsjökull mældur og eingöngu notaður LORAN-C búnaður við staðsetningu mælilína. Það flýtti fyrir mælingum en vond veður teygðu engu að síður úr þeim leiðangri vegna þess að jökullinn var víða svo sprunginn að gott skyggni þurfti til þess að fara um hann. Leiðangurinn tók sex vikur í stað þriggja sem áætlað var. Reyndar var meira mælt en í nokkrum leiðangri fram til þessa. LV hafði bætt við öðru stærra og vistlegra meiðhýsi með kojurými fyrir sex og eldunaraðstöðu (strax kallað Svítan).

Árið 1985 voru gerðar umfangsmiklar íssjármælingar á Bárðarbungu og á svæði suður að Grímsvötnum með stuðningi Vísindasjóðs. Áfram hélt samstarf JH og LV um íssjármælingar árið 1988 á Brúarjökli og 1989 á Dyngjujökli. Árið 1990 var hluti Síðujökuls mældur að hausti, vegna þess að í ágúst það ár sáust nýjar sprungur hátt uppi á jöklinum sem gátu verið merki um að framhlaup væri að hefjast

LV og RH-JH hafa átt samstarf um kortlagningu botns stærsta hluta Vatnajökuls (1980–2000), Hofsjökuls (1983) og Langjökuls (1997). LV hefur stutt við íssjármælingar sem gerðar hafa verið í vorferðum JÖRFÍ og í afkomuleiðöngrum á Vatnajökul (1978–2022). Efst t.v. eru búðir á Bárðarbungu 1978, íssjárhúsið fyrir miðri mynd. Árið 1982 tafði afleitt veður vinnu við mælingar á Köldukvíslarjökli í þrjár vikur, en á myndinni kætast menn yfir góðum árangri þegar loks viðraði til vinnu næstu þrjár. Leiðangur á Hofsjökul 1983 reyndist líka verða um 6 vikna langur vegna illviðra, en vel gekk inná milli. Íssjáin er þarna hengd aftan í snjóbíl LV. Ný kynslóð snjóbíla var notuð í mælileiðangri á Brúarjökli 1988. Vegna betri leiðsögutækni (leiðsöguLóran með ferilteikningu og gírókompás) þurfti ekki að leggja út mælilínur heldur keyra eftir tækjunum þannig að færri leiðangursmenn þurfti í verkið en áður. Á sporði Breiðamerkurjökuls er ekki oft snjór, en 1991 þegar þar var mælt með íssjá snjóaði þykku lagi í byrjun leiðangurs sem varð til þess að hægt var að fara um nær allan jökulinn. Nýsnjór hjálpaði líka til á neðri hluta Skeiðarárjökuls 1993, nema allra fremst, nýtt tækjahús úr trefjaplasti, Súlutindar í bakgrunni. – *The bedrock of Iceland's three largest glaciers has been mapped by radio echo sounding, starting in 1978.* Ljósm./*Photos:* 1. Marteinn Sverrisson, 2,3,4. H.H.H., 5,6. F.P.

svo að jökullinn yrði ófær til mælinga mörg næstu ár. Vorið 1991 tókst hins vegar að ljúka mælingum á Síðujökli og jökullinn umturnaðist ekki fyrr en í framhlaupi veturinn 1993–94. Í sama leiðangri var einnig mældur Breiðamerkurjökull. Vegagerðin kom að báðum verkefnunum vegna rannsókna varðandi brúargerð yfir Jökulsá á Breiðamerkursandi, Skaftá og Hverfisfljót. Við mælingarnar 1991 var auk LORAN-C í fyrsta sinn notað GPS móttökutæki við staðsetningu mælilína. Notaður var frumstæður búnaður úr MAGELLAN handtæki (eins tungls móttakari) sem tekist hafði að kaupa frá Bandaríkjunum, en þá var ekki hægt að fá slík tæki á almennum markaði vegna fyrra Persaflóastríðs. Gögnum frá GPS tækinu var safnað á fartölvu. Það voru tímamót því að þar með var staðsetningaróvissa kominn niður í um tíu metra.

Á árunum 1993 og 1994 var Skeiðarárjökull mældur í samstarfi við Landsvirkjun, með stuðningi Vegagerðarinnar, og höfðu þá megindrættir botns og yfirborðs nær alls Vatnajökuls verið dregnir. Árið 1997 var Langjökull kannaður með ísssjá í samvinnu við Landsvirkjun en Orkuveita Reykjavíkur kom einnig að verkinu vegna þess að frá Langjökli fellur grunnvatn til Þingvalla og að jarðhitasvæðinu í Henglinum. Vorið 2000 var bætt við íssjármælingum á Tungnaárjökli og Sylgjujökli, og auk þess mæld fjölmörg hæðarsnið með nákvæmum GPS tækjum til þess að endurskoða yfirborð á vesturhluta Vatnajökuls vegna þess að miklar breytingar höfðu orðið á lögun og hæð í framhlaupunum 1993 til 1996.

Allt frá því íssjármælingar hófust hafa þær verið gerðar víða á Vatnajökli í vorleiðöngrum RH-JH-LV til afkomumælinga og í vorferðum JÖRFI, sem LV hefur stutt með því að leggja til snjóbíl, vélsleða við flutninga. Stöðugt urðu farartæki og leiðsögutæki öruggari og aðbúnaður fyrir starfsmenn batnaði. LV keypti nýtt meiðhýsi (nýja Svítan) árið 2008 með rýmri kojum, eldhúsi með vaski, hreinlætisaðstöðu með góðu klósetti, og auknu vinnurými með skrifborði til úrvinnslu gagna.

Íssjármælingar hafa einnig verið unnar í mörgum vorferðum JÖRFI, sem Landsvirkjun hefur stutt á þann hátt að leggja til einn eða fleiri starfsmenn, farartæki (snjóbíla, jeppa og vélsleða), og meiðhýsi, auk þess að flytja búnað að og frá jökli. Árið 1984 var mælt snið upp Tungnaárjökul til Grímsvatna og þaðan austur um ísaskil Skeiðarárjökuls og Brúarjökuls yfir í norðurhlíðar Breiðubungu. Ári síðar, 1985 var mælt annað snið upp Tungnaárjökul til Grímsvatna og þaðan austur að Snæhettu, suður á Öræfajökul og tvö snið þar yfir Öræfajökulsöskjuna (fyrstu mælingar á dýpt hennar). Árin 1987 og 1988 voru gerðar ítarlegar íssjármælingar í Grímsvötnum og 1990 var mælt á Háubungu og svæðinu milli Pálsfjalls og Bárðarbungu. Enn voru mæld snið í Grímsvötnum 1991, og norðan þeirra og um báða Skaftárkatla, og þaðan suður að Geirvörtum og Þórðarhyrnu. Þá var vorið 1993 aftur mælt í Grímsvötnum og norðan þeirra þar sem umbrot urðu 1938 (síðar Gjálp). Erfiðlega hafði gengið að sjá til botns gegnum öskulög. Vorið 1994 var mælt íssjársnið yfir Grímsvötn og upp á Bárðarbungu og einnig eftir ísaskilum Skeiðarárjökuls og Dyngjujökuls austur á miðjan Brúarjökul (að mælistöð B13 þar sem sett var upp fyrsta sjálfvirka veðurathugunarstöðin á Vatnajökli). Í þeim mælingum var fyrst og fremst slægst eftir endurkasti frá öskulögum sem grafist hafa í jökulinn og segja sögu um afkomu jökulsins og hreyfingu (notuð stutt loftnet). Loks skal nefnt að hin síðari ár hafa JH og LV unnið að nákvæmum íssjármælingum á einstöku svæðum, svo sem við upptök jökulhlaups sem féll til Hágöngulóns sumarið 2011.

Afkomumælingar

Auk kortagerðar af botni og yfirborði jökla hófst fljótlega samstarf LV og JH um reglubundnar mælingar á afkomu og hreyfingu jökla, fyrst á Köldukvíslarjökli og Tungnaárjökli árið 1992. Það sama ár hófu Vatnamælingar Orkustofnunar einnig skipulegar afkomumælingar á Hofsjökli. Vorið 1986 var vetrarafkoma mæld á um 20 stöðum á vestanverðum Vatnajökli með því að meta vatnsgildi í snjókjörnum sem boraðir voru með handsnúnum kjarnabor gegnum vetrarsnjólagið. Þar með urðu þáttaskil við afkomumælingar. Eftir það hafa boranir komið algerlega í stað þess að grafa gryfjur með skóflum. Þar með stórjukust mjög afköst við afkomumælingar. Komið var fyrir járnrörum í borholurnar og hæð þeirra frá yfirborði mæld vor og haust til þess að meta sumarafkomu. Staðsetning stikanna var einnig mæld með landmælingatækjum theodólít og fjarlægðarmæli, vor og haust og þannig metið skrið

Afkoma hefur verið mæld í vorferðum JÖRFÍ og íssjármælileiðöngrum LV-RH-JH. Efst er unnið í afkomugryfju í Grímsvötnum vorið 1984. Árið 1986 voru gerðar afkomu- og ísskriðmælingar á Tungnaár- og Köldukvíslarjöklum, ísborinn var notaður til að koma mælirörum niður í ísinn. Þegar kerfisbundnar afkomumælingar á Vatnajökli hófust 1992 átti JH kjarnabor sem snúið var með snittvél, og LV hafði keypt gufubor til að koma vírum ∼10 m niður í ísinn á leysingasvæðunum. Næstu árin eftir framhlaup Tungnaárjökuls 1994–95 var ekki hægt að komast um jökulinn nema með þyrlu. Í tvo áratugi hefur snjóbíll HSSR verið ferða- og dráttartæki í afkomuleiðöngrum. Frá 1994 hafa afkomuvírar á leysingasvæðum verið hengdir í „jöklastikur" gerðar úr 6 m 1/2" eða 3/8" vatnsrörum. Á safnsvæðum voru mælistikur fyrir sumarafkomu fyrst úr 3/4" vatnsrörum, síðan úr 6 m baujubambus í nokkur ár, en síðan um 2000 úr 6 m baujuplaststikum. Þeim hættir til að leggjast útaf á haustin þannig að þær eru merktar með Recco díóðum og finnast þannig með leitartækjum þó þær snjói í kaf í vetrarbyrjun. – *Mass balance measurements.* Ljósm./*Photos:* 1. H.H.H. 2. Theodór Theódórsson, aðrar F.P.

Eftir nokkar ferðir með gufuborinn var honum fundinn samastaður á snjóbíl LV. Afkomuleiðöngrum fylgir mikill búnaður til mælinganna og ílát fyrir vistir. Stundum leikur vafi á að rétt hafi verið greind skilin milli hjarns og vetrarsnævar í kjörnum, hér verið að endurbora kjarna efst á suðurhveli Langjökuls í júní 2011; fyrri mæling var staðfest. Snjóþykktarsnið er hægt að mæla með hátíðniradar, hér er 400 MHz radar tengdur meiðhýsi LV og var dregin þannig um 600 km um Vatnajökul 2012. Reynt er þegar aðstæður eru góðar, að taka saman járnstikur og farga þeim á tilhlýðilegan hátt þegar heim er komið, hér er safn af Hagafellsjökli. Miklu munar að geta unnið í tveimur eða jafnvel þrem teymum við afkomumælingarnar; ef veður er hagstætt fást mest afköst ef unnið er á sleðum þar sem langar vegalengdir eru milli mælistaða eins og á Vatnajökli. – *A program to measure the mass balance of Vatnajökull was initiated in 1992, and in 1997 on Langjökull.* Ljósm./*Photos:* 3. Hlín Finnsdóttir, aðrar F.P.

jökulsins um sumarið. Að þessum mælingum og úrvinnslu þeirra unnu Helgi Björnsson og Magnús Tumi Guðmundsson RH með Hannesi H. Haraldssyni og Theodór Theodórssyni LV.

Samstarf RH og LV um árlegar mælingar á afkomu Vatnajökuls hófst vorið 1992 með mælingum á Tungnaárjökli, Síðujökli og Köldukvíslarjökli og hefur það staðið samfellt síðan. Tæknimenn RH höfðu þá fundið rafknúna vél til þess að snúa bornum hæfilega hratt (hentuga RiGDID handhelda snittvél og síðan hafa þær verið notaðar um allan heim við snjókjarnaborun). Þetta gerbreytti vinnu við afkomumælingar á jöklum, sparaði mikinn tíma, því að vissulega var seinlegt að handsnúa bor eftir að hann var kominn nokkra metra niður í jökulinn. Frá 1996 hefur hitastig í borkjörnum einnig verið mælt um leið og þeir komu upp; á reglulegu millibili, oftast á 20 cm fresti. Bambusstikur (í stað stálröra) voru settar niður í kjarnaholurnar og að hausti var mæld sumarafkoma. Á leysingarsvæðum var vír hins vegar settur í holur sem voru boraðar niður í jökulís með gufubor (sem LV keypti frá Steinbach í Swiss, og enn er notaður aldarfjórðungi síðar!). Nú voru komin til sögunnar GPS mælitæki sem með eftirá leiðréttingum skiluðu staðsetningar nákvæmni 1–5 m sem dugði til að meta meðal skriðhraða sumars með nýtilegri nákvæmni. Frá 1996 náðist nákvæmni nærri 0.5 til 1 m, en eftir 2004 var hún orðið nokkrir cm eftir að farið var að nota nákvæm landmælinga GPS-tæki (nákvæmni 1–5 cm). Mælingar á afkomu og skriðhraða á öllum skriðjöklum Vatnajökuls (nema Köldukvíslarjökli) sýna að þeir hreyfast of hægt til að bera afkomu jafnóðum frá safnsvæði til leysingasvæðis; safnsvæðið þykknar því svo að stefnir í framhlaup.

Árið 1993 hófust mælingar á afkomu á Brúarjökli, og á Eyjabakkajökli 1996 (Vatnamælingar OS höfðu áður mælt þar nokkur ár). Starfsmenn RH-JH mæla árlega afkomu á Breiðamerkurjökli með stuðningi Vegagerðarinnar og einnig á vatnasviði Grímsvatna og á Bárðarbungu í vorferðum JÖRFÍ. Þannig hefur nú í um tvo ártugi verið mæld afkoma um allan Vatnajökul á um 60 stöðum árlega. Þessar mælingarnar hafa síðan verið notaðar til þess að draga upp stafræn kort af vetrar-, sumar- og ársafkomu sem ná yfir allan jökulinn. Einnig hefur afkoma einstakra skriðjökla verið sundurliðuð og heildarafrennsli leysingarvatns til hinna ýmsu fallvatna verið metið. Frá 1997 hefur afkoma Langjökuls einnig verið mæld á um 25 mælistöðvum ár hvert í samvinnu RH-JH og LV.

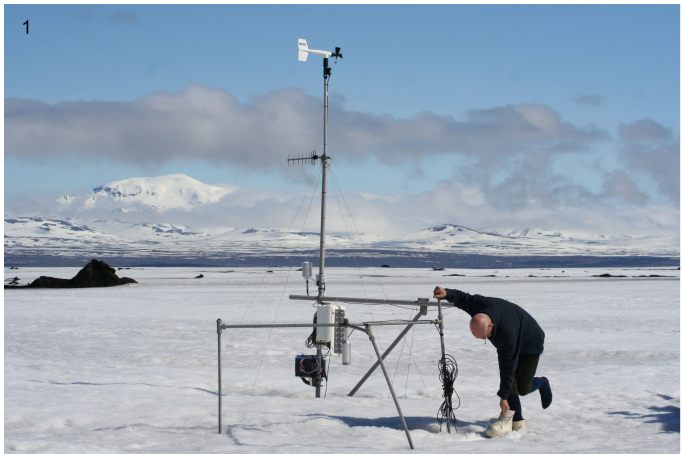
Árið 2011 hófust snjómælingar með hátíðniradar (400 MHz tæki í eigu JH) sem dreginn var af snjóbíl milli mælistaða í afkomumæliferð á Vatnajökli. Samtals var snjóþykkt skráð samfellt á um 500 km löngum sniðum. Fram kom að snjóþykkt gat verið nokkuð breytileg frá einu svæði til annars, einkum þar sem jökullinn er öldóttur vegna mishæða í botni. Vorið 2015 var enn meira mælt með snjóradar LV, ekið þvers og kruss um stóran hluta Vatnajökuls og Langjökuls. Tilgangur þessara mælinga var að rannsaka hve ójafnt vetrarsnjór getur dreifst yfir jökul. Að þessum vanda var reyndar hugað við upphaf fyrstu afkomumælinga með borunum á vestanverðum Vatnajökli og í ljós kom að ekki mætti setja niður mælistaði þar sem mikill snjór gæti safnast í dældir vegna skafrennings svo að þykkt yrði ekki dæmigerð fyrir meðalsnjósöfnun á jöklinum.

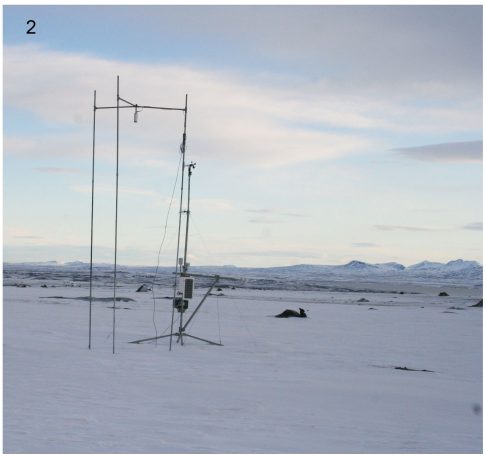
Veðurathuganir

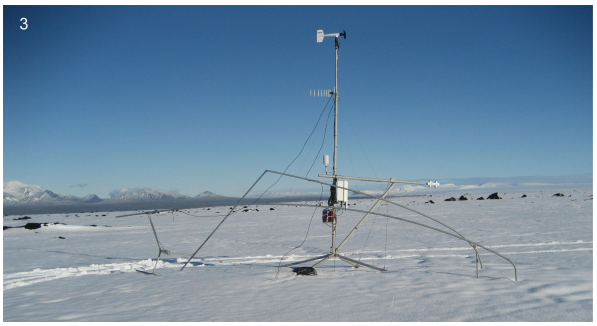
Auk beinna afkomumælinga var lögð áhersla á að kanna samhengi afkomu og veðurs á jöklum. Slíkar rannsóknir höfðu verið gerðar á Bægisárjökli 1967–8, þar sem haldið var út mannaðri veðurstöð til þess að reikna orkubúskap við jökulyfirborðið og niðurstöður síðan bornar saman við mælda sumarleysingu. Sumarið 1994 hófu LV og RH tilraun með rekstur sjálfvirkrar veðurstöðvar á mælistað nærri jafnvægislínu á Brúarjökli (B13). Hún mældi og skráði samfellt lofthita, raka, vindstyrk og stefnu auk snjóhæðar. JH hafði þá um nokkurra ára bil mælt hita og loftþrýsting á Grímsfjalli og samtímis á fljótandi íshellu Grímsvatna til þess að meta breytingar í vatnhæð Vatnanna. Þau gögn voru jafnóðum send með fjarskiptum til byggða. Árið 1995 var veðurstöðin aftur sett upp í B13 og önnur samskonar á Saltarann á Grímsfjalli.

Árið 1996 hófu RH og LV þátttöku í evrópuverkefninu TEMBA þar sem kanna átti áhrif landslags á veður og afkomu jökla. Í þessu verkefni var meðal þátttakenda stofnun um rannsóknir lofhjúps, geims og sjávar við háskólann í Utrecht í Hollandi (IMAU), sem hafði mikla reynslu af resktri sjálfvirkra veðurstöðva á jöklum í Ölpunum, Grænlandi og á Suðurskautsland-

Þrjár kynslóðir veðurstöðva í B13, mælistöð nærri jafnvægislínu á Brúarjökli. – *Three generations of automatic weather stations (AWS) on Brúarjökull, the NE-outlet of Vatnajökull, in 1994–2022.* Ljósm./*Photos:* 1. H.H.H. 1994, 2. F.P. 1995 , 3. H.H.H. 2004, 4. F.P., 5. F.P. 2022.







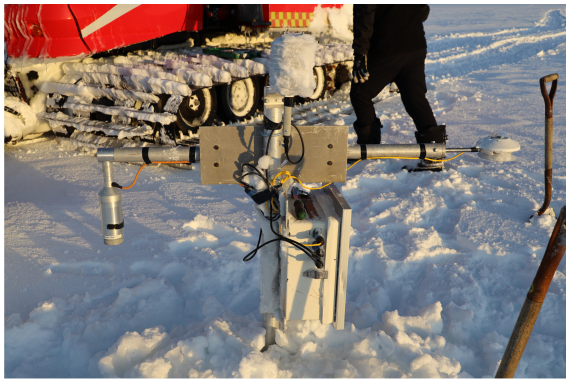
Í um 825 m hæð á Brúarjökli hefur verið veðurstöð í rekstri allt árið frá 2001. Hægt er að skoða veðurgögn þaðan á vef Veðurstofu Íslands undir heitinu Brúarjökull B10. Á rekstrartíma stöðvarinnar hefur jökullinn lækkað þarna um nærri 100 m. Á neðri myndinni sést að 3/4" rörin sem bera snjóhæðarmælinn hafa fallið, það gerist stundum undan ís- og vindálagi þegar vetrar. – *An all year AWS has been operated at ∼835 m since 2001. Data can be viewed on the Icelandic Met Office web under site name Brúarjökull B10.* Ljósm./*Photos:* 1,2. F.P. 2011 vor og haust, 3. Þorsteinn Jónsson haust 2006.

inu. Að þeirra fyrirmynd voru byggðar fimm veðurstöðvar sem settar voru á Vatnajökul, flestar með besta búnaði sem völ var á. Tæki til mælinga á hita, raka, geislunarþáttum, vindstyrk og stefnu auk snjóhæðar voru keypt fyrir styrkfé til RH en LV lagði einnig til mælitæki og sá um smíði mastra sem tækin stóðu á.

Vorið 1996 voru settar tvær veðurstöðvar á Brúarjökul, ein á Köldukvíslarjökul, ein á Tungnaárjökul og ein á Skálafellsjökul. Erlendu samstarfsaðilarnir ráku tvær stöðvar á Dyngjujökli, eina í Holuhrauni framan við Dyngjujökul, eina efst á Brúarjökli og fjórar stöðvar á Breiðamerkurjökli. Auk þess voru veðurþættir reglulega mældir í sniði í lofthjúpnum yfir Breiðamerkurjökli, sleppt var lausum loftbelg sem sveif til himins. Þetta sumar var önnur veðurstöðin á Brúarjökli mönnuð, þar var meiðhýsi LV (gamla Svítan) og einn til tveir starfsmenn allt sumarið, sem sáu um að lesa reglulega af veðurstöðvunum og annast ýmsar handvirkar mælingar m.a. skrá skýjahulu.

Auk sameiginlegrar úrvinnslu og útgáfu margra greina um helstu niðurstöður þessa verkefnis, varð til tækjabúnaður og þekking sem síðan hefur nýst við smíði og rekstur veðurstöðva af þessu tagi. Á árunum 1996–2005 varð framhald á Evrópusambandsverkefnum (TEMBA, ICE-mass, SPICE) og sum ár voru fleiri en 10 veðurstöðvar reknar sumarlangt til mats á orkuflæði að jökulyfirborði. Síðan hafa RH-JH-LV lengst af rekið saman um 10 veðurstöðvar að sumarlagi á Vatnajökli, en fjórar allt árið og eina eða tvær á Langjökli.

Gögn frá þessum veðurstöðvum hafa aukið skilningi á orkustraumum að jökulyfirborði, framlagi einstakra orkuþátta til leysingar (sólgeislunar, hitageislunar, skynvarma og dulvarma) og mats á því hvernig orkan breytist með tíma og frá einum stað til annars. Einnig hafa þessar niðurstöður nýst til þess að þróa einföld reynslubundin spálíkön um leysingu t.d. gráðudagalíkön og við mat á veikleika og gildissviði



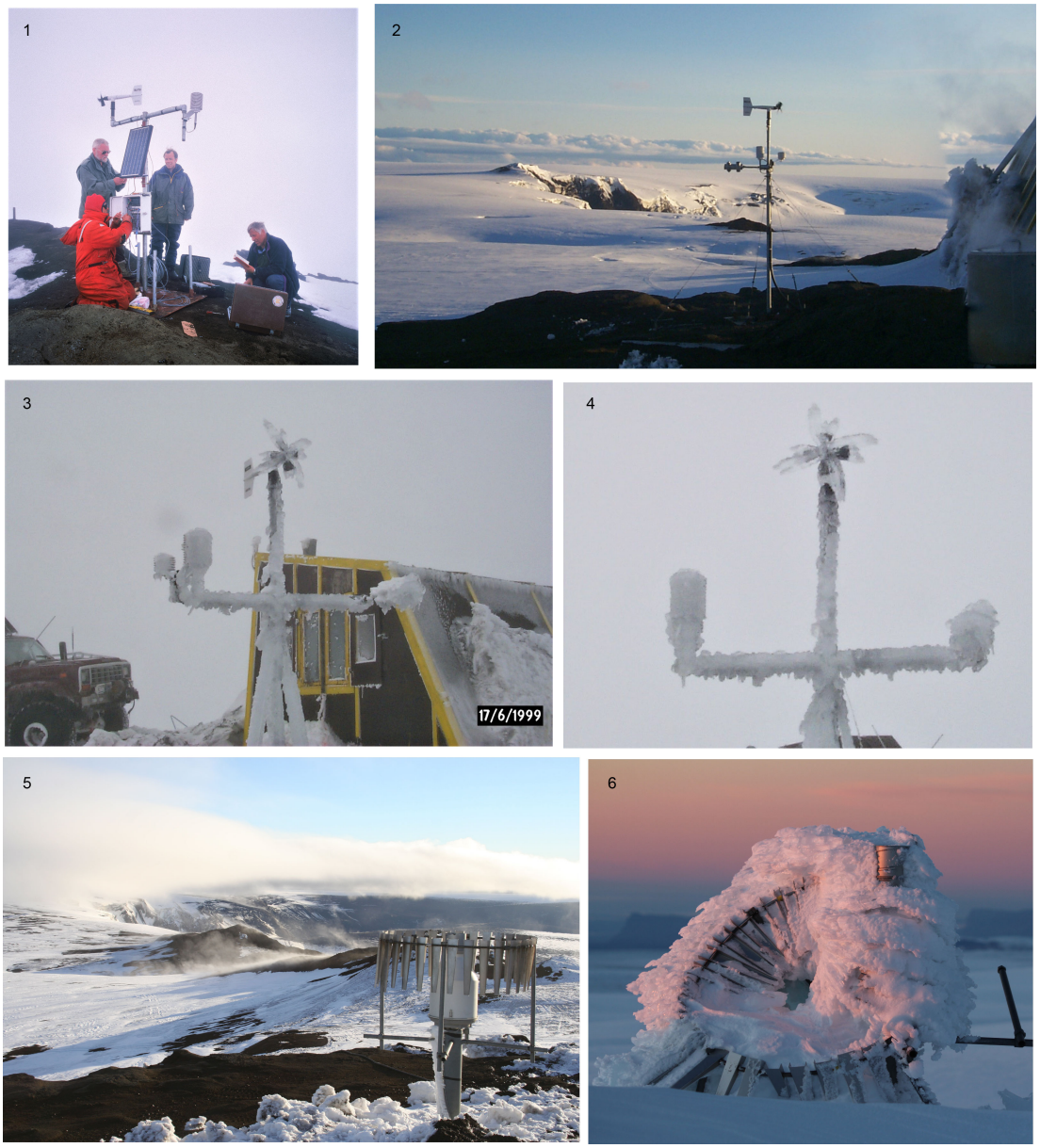
Á Bárðarbungu er veðurstöð í mestri hæð á Íslandi (∼1950 m). Þarna er sumarástand mjög stutt, leysing oftast bara í nokkrar vikur. Ísingaveður pakka veðurstöðinni inn í hvítan hjúp. Hér sýnist maður á hlaupum hafa frosið fastur, en annað kom í ljós þegar ísinn var fjarlægður. – *The AWS at highest location in Iceland (∼1950) often gets covered with ice in late summer.* Ljósm./*Photos:* F.P. 2022.

þeirra líkana. Þá eru þessar mælingar mjög mikilvægar, og hafa þegar nýst, til þess að kvarða og meta árangur af tilraunum til þess að reikna orkuskipti við yfirborð jökuls með lofthjúpslíkönum. Til mikils er að vinna ef unnt yrði að meta jökulleysingu frá degi til dags út frá veðurspám. Stefnt er að því að veðurreiknilíkön geti hermt þau ferli sem ráða hitastigi við yfirborð jökuls. Hitamælingar í snjókjörnunum að vori munu þá einnig nýtast við kvörðun veðurlíkana, því að vetrarsnjórinn geymir upplýsingar um hitastig þegar hann fellur og fram til vorleysinga. Loks skal ítrekað að mælingar á vetrarafkomu (og vatnsgildi) á hveljöklum er enn besta úrkomumæling sem völ er á og hafa þær nýst til að stilla af fræðileg úrkomulíkön á Íslandi.

Mælitæki og ferðabúnaður

Sú mikla breyting sem hefur orðið í mælitækni, skráningu gagna og úrvinnslu þeirra á 40 árum hefur aukið afköst og árangur við jöklarannsóknir. Þar skipta miklu framfarir í gerð tölvubúnaðar er nú orðinn hluti af öllum mælitækjum. Vegna náinnar samvinnu við Merkjafræðistofu Háskólans strax við upphaf íssjármælinga var einmenningstölvum beitt við úrvinnslu strax um 1980. Tölvubúnaðurinn var í fyrstu einfaldur, reiknigeta lítil, tiftíðniörgjörva ∼100 kHz (nú hins vegar GHz), minni tölvanna aðeins ∼64 kByte (nú ∼10 GByte), gagnageymsla aðeins 128 kByte disklingar (nú Terabyte) og textaskjáir grófir (nú með háupplausnargrafík á ∼30” skjám). Mestallur hugbúnaðurinn var áður heimasmíði, oft einfaldur vegna þess hve vélbúnaður var ófullkominn. Nú eru hins vegar nær öll mælitæki og hugbúnaður aðkeypt, mælitækin fjöldaframleidd eða sett saman úr tilbúnum einingum, og það sama á við um bæði vél- og hugbúnað til úrvinnslu. Framsetning mæliniðurstaðna hefur gerbreyst, frá því að vera handteiknaðar skissur og línurit yfir í hálfsjálfvirka gerð korta og línurita á stafrænu formi. Tölvur með myndaskjám og fullkomnum rit- og myndivinnsluhugbúnaði hafa breytt vinnu við skýrslu- og greinaskrif.

Tæknibylting hefur einnig gerbreytt ferða- og leiðsögutækjum. Í fyrstu jöklaferðum var ekið eftir áttavita, vegalengdir mælar með hjóli sem dregið var um jökulinn og miðað var við kennileiti á landakortum; jöklakort voru þá frumstæð og víða kolröng, hæðarlínur ofan 1000 m höfðu aldrei verið mældar. Árið 1978 kom fyrsta Loran-C tæki sem gat skráð stað með ∼10 m nákvæmni en gildin sem tækin skráðu voru kerfisbundið röng sem gat numið nokkur hundruð metrum, þó mismunandi frá einum stað til annars. Skekkjan var reglubundin hliðrun sem fór eftir fjarlægð frá lóranstöðvum og unnt var að leiðrétta hana með samanburði við mælingar í þekktum landmælingapunktum á svæðinu. Þessi tæki nýttust þó ekki í fyrstu til leiðsagnar í leiðöngrum en unnt var að vinna úr gagnaskrám eftir að ferð lauk. Nokkru seinna komu lórantæki búin stafrænum skjá með hnitum svo



Um miðjan níunda áratuginn var settur jarðskjálftamælir, á vegum RH, á Grímsfjall sem sendi gögn um fjarskiptabúnað til Reykjavíkur. Jafnframt voru gerðar tilraunir með sjálfvirka veðurstöð sem Jón Sveinsson hannaði og smíðaði. Gögnum frá þeirri mælistöð var streymt til Reykjavíkur árin 1991–99. Samhliða þróun á notkun sjálfvirkra veðurstöðva á jökli sem byggðar voru á stöðluðum skráningar- og mælitækjum var einnig hugað að rekstri slíkra tækja á Grímsfjalli. Vorið 1995 var sett veðurstöð á Saltarann, en síðar var hún flutt á stæði suðvestan Gamla skálans. Myndirnar bera með sér að Grímsfjall er einhver mesti ísingastaður á Íslandi, vindmælar brotna yfirleitt eftir nokkrar vikur og jafnvel úrkomumælar sligast undan álaginu. – *At the nunatak Grímsfjall in Vatnajökull centre, weather conditions have been monitored more less continuously since 1991.* Ljósm./*Photos:* 1 Sjöfn Sigsteinsdóttir 1995, 2,3,4 H.H.H. 1999, 5 F.P. 2020.

Á þeim fjórum áratugum sem LV og JH hafa átt samstarf um jöklarannsóknir hafa aðferðir til staðsetningar mælistaða breyst gríðarlega. Á fyrstu myndinni er setið í tjaldi á Tungnaárjökli, við móttakara fyrir merki frá gervitunglum í Transit leiðsögukerfinu, forvera GPS, sem eftirá mátti nota til að ákvarða staðsetningu með um 20 m nákvæmni. Frá 1981 var notast við Loran leiðsögutækitæki. Fyrsta GPS leiðsögutækið var notað 1991. Á snjóbílnum má sjá loftnetsstöng fyrir Loran og hvítt egglaga loftnet fyrir GPS tæki, en móttakara og tölvu sem skráir ökuferilinn á þriðju mynd. Árið 1992 var gerð fyrsta tilraun til nákvæmra (nokkrir cm) kinematiskra mælinga á stikum til að meta skriðhraða og nákvæma hæð (4,5,6). Frá 1992 hafa GPS og GNSS tæki verið notuð til mælinga staðsetningu mælistaða og mælingu samfellra yfirborðshæðarferla (6,7,10). Fyrstu tæki til samfelldrar skráningar á skriðhraða voru á austanverðum Brúarjökli 2006 (9), en hafa síðan verið nokkur á hverju ári (10). – *Since 1978 satillite based navigation systems have been utilized in glaciological research, for location of survey sites, navigation, elevation profiling and survey of surface velocity.* Ljósm./*Photos:* 1. Jón Sveinsson, 2. H.H.H., 3,4,5,6,7. F.P., 8. Þorsteinn Jónsson, 9. Sveinbjörn Steinþórsson, 10. F.P.

að unnt var að nota þau við leiðsögn. Þau voru á stærð við nestisbox og urðu strax algeng í öllum jöklafarartækjum. En næsta stóra stökk fram á við varð með GPS leiðsögutækjum sem allir kannast nú við. Fyrsta tækið var notað í leiðangri RH-LV 1990. Nú eru í hverjum leiðangri jafnvel tugir GPS tækja. Flestar far- og spjaldtölvur eru með innbyggða GPS móttakara, leiðangursmenn eru jafnvel með GPS í símanum sínum, sem eru nákvæmari en margra milljón króna tæki voru um miðjan 10. áratuginn.

Slys í mælileiðöngrunum hafa verið fá og engin verulega alvarleg til þessa. Við undirbúning leiðangra skiptir miklu að geta skipulagt mælinet svo að sem mestur árangur náist og hvorki fólki né tækjum sé stefnt í voða, forðast sprungin svæði og finna færar leiðir. Fljótlega var farið að nýta bæði loftljósmyndir og gervitunglamyndir af ýmsu tagi. Áður fengust slík gögn aðallega útprentuð á pappír frá kollegum eða vinum erlendis en nú eru ýmis háupplausnargervitunglagögn auðfengin á nokkrum mínútum með niðurhali á alnetinu.

Fjarskipti eru nú með allt öðrum hætti en áður, þegar aðeins var Gufunes-radíóstöð í snjóbílum og oft var sambandslaust við umheiminn. Nú næst víðast hvar á jöklum gott símasamband og nota má síma eða tölvur til að vinna á alnetinu. Með GSM síma og langdrægar TETRA-stöðvar næst víðast hvar samband, og gervihnattasímar bregðast ekki. Leiðangursmenn eru oft með í vasa sínum búnað sem sendir á $\sim$10 mínútna fresti merki um staðsetningu í gervihnött, og félagar og fjölskylda geta fylgst með ferðum þeirra.

Vinnufatnaður hefur batnað, er skjólbetri og liprari en áður, svo að menn þurfa ekki að þola kulda og verulega vosbúð við mælistörf. Verð hefur lækkað svo að ekki þarf að eyða margra mánaða tekjum í ferðaföt og skó. Miklar framfarir hafa einnig orðið á öryggisbúnaði. Nú ferðast enginn á vélsleða án hjálms, björgunarlínu, brodda, leiðsögutækis og fjarskiptabúnaðar. Í meiðhýsi, sem oft er með í lengri leiðöngrum, og í skálum JÖRFÍ á Vatnajökli og Langjökli (sem LV aðstoðaði við að flytja og koma upp) sofa leiðangursmenn í venjulegum rúmum, geta eldað góðan mat, þurrkað fatnað og haldið sér hreinum. Þetta eykur vellíðan, vinnuafköst og árvekni mælingamanna.

Farartæki í jöklaferðum hafa líka breyst. Rekstraröryggi snjóbíla hefur aukist, jeppar orðið öflugri, rúmbetri og með stærri dekk svo að þeir nýtast við verri aðstæður en áður fyrr. Vélsleðar eru nú flestir með fjórgengisvélar í stað tvígengisvéla, kraftmeiri, gangvissari, þíðari, menga minna og bila sjaldnar.

Samandregið má segja að miklar umbætur hafi orðið í jöklarannsóknaferðum á þeim fjórum áratugum samstarfs RH-JH og LV, afköst aukist, aðbúnaður og öryggi batnað. Enn sem fyrr veltur þó árangur mest á leiðangursmönnum. Þar hefur verið valinn maður í hverju rúmi, sjaldan kastast í kekki og allir unnið sem einn maður.

Samantekt

Gögn frá íssjármælingum hafa nýst til þess að afmarka vatnasvið til fallvatna frá jöklum. Kort af yfirborði hafa verið uppfærð öðru hvoru, eftir því sem yfirborð jöklanna hefur breyst. Einnig hafa verið endurgerð eldri yfirborðskort og þau notuð til að afmarka vatnasvið á ýmsum tímum aftur á miðja 20. öldina.

Mælingar á vetrarsnjóþykkt á jöklum eru bestu úrkomumælingar sem völ er á. Samfelldar mælingar á afkomu sem ná yfir 25 ár hafa sýnt hvernig hún hefur breyst frá ári til árs og frá einum stað til annars, háð hæð, landslagi og brautum lægða á ferð yfir Atlantshafið. Einnig hefur fengist aukinn skilningur á framhlaupum skriðjökla Vatnajökuls.

Veðurathuganir hafa verið notaðar til að reikna orkuflæði að jökulyfirborði og leysingu; (t.d. greiningu á orsökum stórflóða vegna leysingar frá Brúarjökli í ágúst 2004). Þannig hefur aukist skilningur á sambandi veðurs og afkomu og einnig verið unnt að velja bestu stuðla í einföld reynslubundin líkön af tengslum leysingar og lofthita (gráðudagalíkön) sem síðan hafa verið notuð í reiknilíkönum af afkomu jökla, m.a. í vatnafræðilíkönum við mat LV á rennsli til virkjana. Niðurstöður hafa verið notaðar af starfsmönnum og nemendum RH-JH við gerð samtengdra reiknilíkana af veðurþáttum, afkomu og ísflæði.

Í samstarfi við jöklahóp Veðurstofu Íslands og fleiri hafa þessi reiknilíkön verið notuð til að meta líklega breytingu rúmmáls, flatarmáls og afrennslis frá jöklum að gefnum ýmsum sviðsmyndum um líklegar loftlagsbreytingar á komandi árum. Líkanreikningarnir, sem í aðalatriðum spá auknu afrennsli frá jökl-

um hér á landi fram yfir miðja 21. öldina, hafa þegar nýst við hönnun virkjana og í viðskiptaáætlunum LV.

Greining gagna frá veðurstöðvunum og afkomumælingum, hefur verið notuð til að kanna hve næm jökulleysing er fyrir öskufalli frá eldgosum og ryki af hálendinu sem berst inn yfir jökla; m.a. hefur verið þróað reiknirit til að meta áhrif öskufalls á Brúarjökul á afrennsli til Hálslóns.

Gögn um afkomu og veður frá Vatnajökli hafa einnig verið notuð við rannsóknir á því hvernig líkön veðurfræðinga af lofthjúpnum yfir jöklum gætu nýst til þess að meta aðstæður við yfirborð jökulsins. Gögn um afkomu og mæld og reiknuð orkuskipti í veðurstöðvunum á jöklinum eru borin saman við spár lofthjúpslíkana um sömu þætti við yfirborð jökuls. Þannig má prófa líkönin og stilla þau af svo að samræmi sé sem best milli mæligagna og líkanútreikninga. Á þann hátt hefur verið unnt að endurbæta mat lofthjúpslíkana á orkuskiptum við jökulyfirborð. Það gefur fyrirheit um að nota megi veðurspárlíkön til þess að vinna skammtímaspár um afrennsli. Ennfremur segja afkomumælingar, sem ná yfir nærri þrjá áratugi, til um hve vel tekst að meta ársafkomu jökuls með lofthjúpslíkönum. Þá hefur verið unnið að því að bæta aðferðir til að meta endurkaststuðul sólgeislunar við jökulyfirborð með gervihnattagögnum. Eftir miklu er að slægjast vegna þess að endurkast sólgeislunar ræður miklu um heildarorku til leysingar á jökli. Því er mikilvægt að geta metið endurkastsstuðul með fjarkönnun við aðstæður þegar hann breytist hratt frá degi til dags, t.d. við eldgos og sandstorma.

Öll ofangreind gögn og þekking hefur líka nýst til að skilja og meta áhættu vegna flóða frá jarðhitasvæðum og við eldgos í jöklum, sem geta ógnað virkjanamannvirkjum, nærri jökulám.

Að þessari vinnu hafa komið margir starfsmenn Jöklahóps, tæknimenn Jarðvísinda- og Raunvísindastofnunar, samstarfsmenn við erlendar og innlendar rannsókna- og háskólastofnanir, auk þess á annan tug nemenda í meistara- og doktorsnámi við Jarðvísindadeild HÍ og fleiri háskóla sem starfsmenn jöklahóps hafa leiðbeint.

Um rannsóknirnar hafa verið skrifaðar tugir skýrslna og greinargerða, fjölmargar greinar verið birtar í ritrýndum fagtímaritum og hundruð erinda verið flutt og veggspjöld verið kynnt á fagráðstefnum innanlands og utan. Einnig voru gefin út kort af Hofsjökli og vestur- og norðurhluta Vatnajökuls á vegum RH-JH og LV (yfirborð, botn, vatnsmætti og fleira) á árunum 1984 til 1986.

Viðauki: Mannafli.

Sá hópur manna sem af hálfu JH hefur unnið hefur að jöklarannsóknum í samvinnu við Landsvirkjun telur á þriðja tug. Auk Helga Björnssonar jöklafræðings á Jarðvísindastofnun Háskólans (áður Jarðeðlisfræðistofu Raunvísindastofnunar Háskólans) hafa þessir helst komið að verkum sem starfsmenn og samstarfsaðilar í lengri eða skemmri tíma: Marteinn Sverrisson, Jón Sveinsson, Þorbjörn Sigurgeirsson, Sigfús Björnsson, Finnur Pálsson, Magnús T. Guðmundsson, Sverrir Guðmundsson, Þorsteinn Jónsson, Sveinbjörn Steinþórsson, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Eyjólfur Magnússon, Alexander Jarosch, Gunnar Páll Eydal, Trausti Traustason, Þórdís Högnadóttir, Bryndís Brandsdóttir, Runólfur Valdimarsson, Magnús Már Magnússon, Tómas Jóhannesson, Þorsteinn Þorsteinsson, Kirsty Anne Langley, Þröstur Þorsteinsson, Óliver Hilmarsson, Joaquin Munos Belart, Hrafnhildur Hannesdóttir, Snævarr Guðmundsson, Alexandra Mahlmann. Ýmsir erlendir gestir jöklahóps hafa lagt lið við þróun úrvinnslu og túlkun, gerð reiknilíkana og útvíkkun fræðasviðsins með tengslum við m.a. við veðurfræði og fjarkönnun. Þar má helst nefna þessi: Gwenn Flowers, Richard Hindmarsh, Niels Reeh, Ingvar Gjessing, Etienne Berthier, Louise Sandberg Sørensen, Laurent Mingo, Brent Minchew, Mark Simons, Guðmundur Hilmar Guðmundsson. Ekki má gleyma ómetanlegum stuðningi Eggerts V. Briem við smíði og kaup rannsóknabúnaðar á upphafsárum jöklarannsóknanna (laun stafsmanns við hönnun og smíði íssjár, tveir vélsleðar, Land Crusier jeppi). Seinni árin nýtur hans enn við, sjóður Eggerts V. Briem, sem hann lagði fé til, hefur á allra síðustu árum lagt fé til endurnýjunar íssjármælitækja.

Árið 2012 bættist við Jarðvísindadeild staða kennara í jarðeðlisfræði með sérhæfingu í jöklafræði (Guðfinna Aðalgeirsdóttir) og þegar Helgi Björnsson hætti að þiggja laun vegna aldurs í lok árs 2012, kom í stöðu hans Alexander Helmut Jarosch, nú Eyjólfur Magnússon en Helgi hefur haldið áfram störfum launalaust með aðstöðu við JH. Finnur Pálsson hefur starfað í jöklahópnum samfellt frá árinu 1981 en án fastrar ráðningar eða launa af fjárveitingum.

Ýmsir tæknimenn Raunvísindastofnunar og Jarðvísindastofnunar hafa komið bæði að tækjasmíði og tekið þátt í leiðöngrum, fyrstu árin Marteinn Sverrisson rafmagnsverkfræðingur, Jón Sveinsson rafmagnstæknifræð-

ingur, Ævar Jóhannesson tæknimaður, Þorbjörn Sigurgeirsson eðlisfræðingur, Jón Pétursson eðlisfræðingur Magnús Már Magnússon jarðeðlisfræðinemi, Karl Benjamínsson, Runólfur Valdimarsson og Óskar Ágústsson á járn og tré-smíðaverkstæði, nú seinni áratugina einkum Þorsteinn Jónsson og síðar einnig Sveinbjörn Steinþórsson tæknimenn JH.

Nemendur sem unnnið hafa að gagnaöflun, úrvinnslu og túlkun: Magnús T. Guðmundsson, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Eyjólfur Magnússon, Peter Schelander, Ola Knut Brandt, Þröstur Þorsteinsson, Etienne Berthier, Hrafnhildur Hannesdóttir, Monika Wittmann, Joaquin Munos Belart, Ágúst Þór Gunnlaugsson, Louise Steffensen Schmidt, Giri Gopalen, Krista Hannesdóttir, Sif Pétursdóttir.

Frá 2004 hefur Landsvirkjun til afkomumælileiðangra leigt snjóbíl Hjálparsveitar Skáta í Rvk. HSSR, ásamt bílstjóra, oftast Hlynur Skagfjörð Pálsson en einnig Karl Eiríksson og Gunnar Kr. Björgvinsson.

Nokkur fyrstu ár afkomumælinga var reynt með misjöfnum árangri að nota þyrlu til haustmælinga, en erfið haustveður og þoka trufluðu of oft til að hægt væri að treysta á þessa aðferð. Flugmaður þyrluþjónustunnar var oftast Jón K. Björnsson.

Að hálfu Landsvirkjunar ber fyrstan að telja Hannes H. Haraldsson sem tók þátt í nær öllum jöklamælileiðöngrum frá því um miðjan 8. áratuginn til 2012, og hafði lengst af umsjón með samvinnuverkefnunum. Aðrir voru Jóhann Már Maríusson, Elías B. Elíasson, Agnar Olsen, Jan Henje, Sigmundur Freysteinsson, Andri Gunnarsson, Óli Grétar Blöndal Sveinsson, Úlfar Linnet, Hörður Hafliðason, Sigurður Páll Ásólfsson, Theodór Theódórsson, Gerður Jensdóttir á teiknistofu LV, Eyjólfur Óskarsson og nú síðustu árin einnig Ragnar Þórhallsson, Gestur Jónsson og Þorbjörg Anna Sigurbjörnsdóttir.

Að mælingum hafa einnig komið félagar JÖRFÍ, í vor- og haustferðum á Vatnajökul, þessir helst: Ástvaldur Guðmundsson, Arngrímur Hermannsson, Sveinn Sigurbjarnarson, Hörður Hafliðason, Vilhjálmur Kjartansson, Freyr Jónsson, Magnús Már Magnússon, Halldór Ólafsson, Sævar Skaptason, Bragi Skúlason, Oddur Sigurðsson, Tómas Jóhannesson, Halldór Gíslason, og Sverrir Hilmarsson.

Summary

For about four decades the Science institute, University of Iceland (SI-UI) and National Power Company (NPC) have collaborated in various glacier research projects. Hydro-power production accounts for about 70% of total energy production in Iceland. In an average hydrological year, about 50% of inflow to reservoirs and diversions for 70% hydro-power energy production originates from annual glacier melt. In view of this knowledge of glacial processes is important for the National Power NPC. In the mid 1970's a radar system to measure glacier ice thickness profiles was developed and built at the SI-UI. This opened the opportunity to map glacier bedrock topography and improve the crude existing maps of glacier surface elevation, allowing estimation of ice volume, delineation of water catchments of individual glacier rivers and more. In 1980 Tungnaárjökull, the western outlet from Vatnajökull icecap, was surveyed with the radar system in collaboration of SI-UI and NPC. The results revealed that due to the bedrock topography the glacier water catchment was much smaller than the ice catchment. In following collaboration most of Vatnajökull (with additional support from Iceland Road Authority, Iceland Glaciological Society, Iceland Research Council and other funding), Hofsjökull and Langjökull, Iceland's three largest ice caps have been mapped. In 1988 mass balance of Tungnaárjökull and surface velocity at the mass balance survey sites was measured, and following that in 1992 a collaborative program to study the mass balance and surface velocity of Vatnajökull (∼60–70 sites annually) was initiated and a similar program for Langjökull (∼25 sites) in 1997. Test of automatic weather stations (AWS) on glacier surface to measure meteorological parameters was started in 1994 and currently ∼10–15 AWS's collect data for estimation of glacier surface energy balance during summer on Vatnajökull, Langjökull and Mýrdalsjökull. All this data forms the bases for glaciological research in Iceland and has greatly advanced the understanding of glaciological processes. From these data, numerical models of various complexity, describing the response of Icelandic glaciers to the current and predicted future climate have been developed. This collaboration has proved important for NPC, and hundreds of reports and numerous articles in international peer-reviewed journals have been written for advance of the science of glaciology in general.